



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

ULB

Der kleinste druckbare Punkt, seine Bedeutung und Realisierbarkeit

Scheuter, Karl R.; Gölling, Sibylle
(1987)

DOI (TUpriints): <https://doi.org/10.25534/tuprints-00014034>

License:



CC-BY 4.0 International - Creative Commons, Attribution

Publication type: Article

Division: 16 Department of Mechanical Engineering
16 Department of Mechanical Engineering

Original source: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/14034>

Läßt der aktuelle Entwicklungsstand des frequenzmodulierten Bildaufbaus einen Technologiesprung in der Wiedergabequalität erwarten?

Informationstheoretische Grundlagen und praktische Erkenntnisse zum Informationsübertragungsprozeß in Reproduktion und Druck

Der kleinste druckbare Punkt, seine Bedeutung und Realisierbarkeit

Von Prof. em. Karl R. Scheuter und Dipl.-Ing. Sibylle Gölling

Der Druckprozeß – er geht von der Vorlage aus und endet mit der gedruckten Reproduktion – ist ein Prozeß der Informationsübertragung und unterliegt den Gesetzmäßigkeiten der Informationstheorie. Aufgrund dieser Gesetzmäßigkeiten war es möglich, eine objektive, meßtechnische Beurteilungsmethode der Druckqualität zu entwickeln und den Beweis zu erbringen, daß die objektive Beurteilung mit der subjektiven Beurteilung übereinstimmt [1,2]. Andererseits ist es auch möglich, aus der Informationstheorie Kriterien für die Reproduktionsverfahren abzuleiten, welche erfüllt sein müssen, wenn die Druckqualität signifikant erhöht werden soll. Die Einsicht, daß dies für die Zukunftssicherung der Drucktechnik von großer Bedeutung sein wird, ist zwar noch nicht Allgemeingut der Druckindustrie und ihrer Kunden, gewinnt aber täglich neuen Boden.

Grundsätzlich müßte der gewählte Informationsübertragungsprozeß von der Vorlage zur Reproduktion in der Lage sein, die Vorlage mindestens so gut zu reproduzieren, daß zwischen Reproduktion und Vorlage kein störender Unterschied mehr feststellbar ist.

Die Reproduktion und die Vorlage müßten also visuell austauschbar werden. Daraus ergibt sich die Mindestforderung,

daß die Kapazität des Prozesses, Information darzustellen, mindestens gleich der Kapazität des Sehannes, Information aufzunehmen, sein muß. Bedenkt man jedoch die Tatsache, daß bei jeder Informationsübertragung als Folge des Prozeßrauschens einerseits und als Folge des Bildaufbaues andererseits irrelevante Information entstehen kann (bei der Autotypie zählen beispielsweise die unvermeidlichen Rosetten im Mehrfarbendruck dazu), welche einen Teil der Informationskapazität nutzlos beansprucht, dann reicht die gestellte Forderung nicht aus. Um das gesteckte Ziel für jede beliebige Vorlage sicher erreichen zu können, ist es deshalb notwendig und sinnvoll, die höhere Forderung zu stellen, daß die Informationskapazität des Prozesses die Informationskapazität der Vorlage, welche im Fall der fotografischen Vorlage immer höher als die Informationskapazität des Sehannes ist, mindestens annähernd erreicht. Die Informationskapazität in bit/Flächeneinheit ist definiert als

$$H_{\max} = N \cdot \lg Z \quad (1)$$

Dabei ist Z die Anzahl der unterscheidbaren Informationsereignisse. Bei bunten Bildern handelt es sich dabei immer um unterscheidbare Farbvalenzen und bei unbunten Bildern um unterscheidbare Helligkeiten, unabhängig davon, wie diese erzeugt werden. Die Zahl N entspricht der Anzahl der je Flächeneinheit vorhandenen Speicherplätze für die Informationsereignisse. Im Reproduktionsprozeß ist jeder Speicherplatz identisch mit einem der Rasterquadrate, in welche die Vorlage zur Informationsübertragung zerlegt wird. Mit der Abtastfrequenz rz_a ist deshalb

$$N = rz_a^2 \quad (2)$$

Damit kann für die Informationskapazität auch wie folgt geschrieben werden:

$$H_{\max} = rz_a^2 \cdot \lg Z \quad (1.1)$$



Karl R. Scheuter,
Emeritierter ordentlicher Professor
der Technischen Hochschule Darm-
stadt, Leiter des Institutes für Druck-
maschinen und Druckverfahren der
T.H.D. seit 4. 1. 1966 bis 30. 9. 1986.



Sibylle Gölling,
Dipl.-Ing., Wissenschaftliche Mitar-
beiterin am Institut für Druckma-
schinen und Druckverfahren der
T.H.D. seit 1. 11. 1981.

Analyse des Reproduktionsprozesses

Um die Zusammenhänge leichter verständlich zu machen, wird im folgenden die Tatsache zugrundegelegt, daß bei der Reproduktion einer bunten Vorlage der Gesamtprozeß zunächst in drei parallel verlaufende unbunte Reproduktionsprozesse zerlegt wird. Das Übertragungsvermögen des Gesamtprozesses ist nur dann maximal, wenn auch die Teilprozesse die maximale Informationsmenge übertragen können. Im folgenden wird daher nur der unbunte Reproduktionsprozeß, der hinsichtlich seiner Informationsübertragungsfähigkeit auch für den Mehrfarbendruck aussagefähig ist, analysiert.

Die Gleichung (1.1) zeigt, daß es zwei Möglichkeiten gibt, die Forderung nach einem gewünschten Wert der Informationskapazität H_{\max} zu erfüllen. Es darf die Zahl Z der unterscheidbaren Informationsereignisse klein sein, wenn die Bildauflösung, das heißt die Abtastfrequenz rz_a ausreichend groß gehalten wird. Umgekehrt darf die Abtastfrequenz rz_a klein sein, wenn die Zahl Z der unterscheidbaren Ereignisse ausreichend groß gehalten wird. Um zu entscheiden, welche der beiden Vorgehensweisen oder welcher Kompromiß zur höchst nutzbaren Informationskapazität und damit einhergehend zur höchsten Druckqualität führt, muß die Physiologie des Sehannes herangezogen werden. Diese stellt drei Grundforderungen an das Bildübertragungsverfahren [3]:

Erstens muß die Abtastfrequenz rz_a größer sein als das bei $rz_{\text{vis}} \approx 100 \text{ L/cm}$ liegende örtliche Auflösungsvermögen des Auges, damit alle visuell in der Vorlage erkennbaren Details auch in der Reproduktion wieder erkennbar sind.

Zweitens muß die Zahl Z der in der Reproduktion unterscheidbaren Ereignisse, entsprechend den Helligkeitsstufen im Farbauszug, um so größer werden, je größer die dargestellten Details, als Flächen gleichen Tonwertes verstanden, sind. In diesem Grenzfall sollte $100 < Z \leq 200$ angestrebt werden. Bei Details, welche vom Auge nur gerade noch auflösbar sind, darf Z jedoch um vieles kleiner sein.

Drittens muß der relative theoretische Helligkeitsumfang, der mittels den vom Bildaufbau vorgegebenen kleinsten und größten Farbflächenanteilen im Druck in guter Näherung zu

$$\Delta B_{\text{rel}} = \varphi_{\max} - \varphi_{\min} \quad (3)$$

definiert werden kann, gegen 1 streben:

$$\Delta B_{\text{rel}} \rightarrow 1$$

Im unbunten Druck oder in einem Farbauszug setzt sich jedes Informationsereignis aus bestimmten Grundbausteinen zusammen. Es kann sich dabei zum Beispiel um ein Pigment, ein fotografisches Korn oder einen Druckpunkt handeln. Die Informationsereignisse werden dann durch die unterschiedliche Anzahl der in einem Informationsereignis enthaltenen Grundbausteine unterscheidbar. Es läßt sich nun immer eine Elementarzelle finden, deren Abmessungen gerade denen eines Grundbausteines entsprechen. Die Kantenlänge d_0 der Elementarzelle kann dann nicht mehr verkleinert werden und es gilt für jede Elementarzelle, daß ein Grundbaustein entweder vorhanden ist oder nicht vorhanden ist. In erster Näherung darf die Fläche dieser Elementarzelle als quadratisch angenommen werden. Dann läßt sich eine beliebige Fläche A_R mit der Kantenlänge d_R in ganzzahligen Vielfachen der Fläche dieser Elementarzelle beschreiben. Es gilt

$$A_R = n^2 \cdot d_0^2 \quad (4)$$

Diese Fläche A_R kann beispielsweise die Fläche eines der Rasterquadrate sein, in welche die Vorlage zur Informationsübertragung zerlegt wird. Jedes Rasterquadrat entspricht einem Speicherplatz für ein Informationsereignis, hier also für einen bestimmten Helligkeitswert. Damit ist die Anzahl der pro Flächeneinheit vorhandenen Speicherplätze für die Informationsereignisse gegeben durch

$$N = rz_a^2 = 1/A_R = 1/(n^2 \cdot d_0^2) \quad (5)$$

Die Anzahl der darin unterscheidbaren Informationsereignisse ist nun abhängig von der Methode des Bildaufbaues. Es existieren zwei grundsätzlich unterschiedliche Arten des Bildaufbaues.

Frequenzmodulierter Bildaufbau

Die eine Methode, entsprechend dem frequenzmodulierten Bildaufbau, ist dadurch gekennzeichnet, daß die Größe einer Elementarzelle identisch mit der Größe des gleichbleibenden Druckpunktes ist, also

$$d_0^2 = d_{\text{DP}}^2 = \text{konst.}$$

Für jede Elementarzelle gilt dann, daß sie entweder mit einem Druckpunkt besetzt ist oder nicht besetzt ist. In diesem Fall gilt für die Anzahl der in der Fläche A_R unterscheidbaren Informationsereignisse

$$Z_{\text{FM}} = n^2 + 1 \quad (6)$$

Die Informationskapazität einer frequenzmoduliert aufgebauten Reproduktion ist dann mit den Gleichungen (1), (5) und (6) gegeben durch

$$H_{\text{maxFM}} = \frac{1}{n^2 \cdot d_{\text{DP}}^2} \cdot \lg(n^2 + 1) \quad (7)$$

Die Informationskapazität und damit einhergehend die Druckqualität einer frequenzmoduliert aufgebauten Reproduktion H_{maxFM} hängt außer vom Druckpunktdurchmesser d_{DP} noch von n^2 , also von der Anzahl der Druckpunkte pro Abtasterasterquadrat, ab. Die Anzahl n kann minimal 1, ansonsten aber beliebig groß werden. Die Funktion H_{maxFM} ist für $n > 1$ monoton fallend. Für $n > 1$ ist der Funktionswert auf jeden Fall geringer als derjenige für $n = 1$. Die maximale Informationskapazität einer frequenzmoduliert aufgebauten Reproduktion ist folglich dann erreicht, wenn das Abtastquadrat genauso klein ist wie die Druckpunkte. Bei Ausschöpfung der maximal vorhandenen Informationskapazität ist dann für $n = 1$

$$H_{\text{maxFMmax}} = 1/d_{\text{DP}}^2 \quad (8)$$

Da der Druckpunkt entweder vorhanden oder nicht vorhanden sein kann, gilt mit $\varphi_{\max} = 1$ und $\varphi_{\min} = 0$ für die relative Helligkeit

$$\Delta B_{\text{rel}} = 1$$

Würde bei der Gestaltung des frequenzmodulierten Bildaufbauverfahrens $n = 1$ endgültig festgelegt, dann würde das bedeuten, daß für den Bildaufbau nur

$$Z_{\text{FM}} = n^2 + 1 = 2$$

Helligkeitsstufen, nämlich Vollton und Papierweiß zur Verfügung stehen würden. Das Verfahren muß deshalb so gestaltet werden, daß sich n selbsttätig den Erfordernissen der Vorlage anpaßt und damit dafür sorgt, daß überall dort, wo feine Tonunterschiede auftreten, der Wert von n , der Physiologie des Sehsinnes entsprechend, ausreichend groß wird. Eine relativ einfache und überprüfte, rein rechnerische Vorgehensweise ist in der Literatur [4] dargestellt. In der allgemeinsten Form ergibt sich dann für die Informationskapazität des frequenzmodulierten Bildaufbaues

$$H_{\text{maxFM}} = \frac{1}{n^2 \cdot d_{\text{DP}}^2} \cdot \text{ld}(n^2 + 1) \leq H_{\text{maxFMmax}} = 1/d_{\text{DP}}^2 \quad (9)$$

Da unabhängig von der Größe von n die Farbflächenanteile $\varphi_{\min} = 0$ und $\varphi_{\max} = 1$ sein dürfen, ohne daß im Licht oder in der Tiefe mit Tonwertabrissen gerechnet werden muß [5], bleibt der relative Helligkeitsumfang

$$\Delta B_{\text{rel}} = 1$$

immer erhalten. Das Verfahren erfüllt damit auch die dritte physiologisch bedingte Forderung nach einem hohen Helligkeitsumfang.

Da n vorlagenabhängig und deshalb nicht frei verfügbar ist, gewinnt die Frage nach der Größe des kleinsten technisch realisierbaren Druckpunktdurchmessers eine ausschlagge-

bende Bedeutung, weil die Informationskapazität und damit einhergehend die Druckqualität mit dem Kehrwert des Durchmesserquadrates des Druckpunktes steigt. In der Abbildung 1 ist der Grenzwert H_{maxFMmax} als Funktion des Druckpunktdurchmessers aufgetragen.

Amplitudenmodulierter Bildaufbau

Die andere Methode des Bildaufbaues ist die Amplitudenmodulation, welche dem bisher üblichen autotypischen Bildaufbau entspricht. Dieser ist dadurch gekennzeichnet, daß jedes Informationsereignis ein Rasterpunkt mit bestimmten Abmessungen im zugehörigen Rasterquadrat ist und die Modulation der Helligkeit über die Variation der Punktfläche erfolgt. Die Abstufung kann in Schritten der Größe der Elementarzelle erfolgen. Es gibt jedoch, um Tonwertabrisse im Licht zu vermeiden, einen kleinsten Rasterpunkt, der immer stehen bleiben muß und der, wie beispielsweise beim Laser-scanner, selbst aus der Anzahl k^2 von Elementarzellen zusammengesetzt ist. Somit läßt sich für die Fläche des kleinsten Rasterpunktes schreiben

$$A_{\text{RPmin}} = d_{\text{RPmin}}^2 = k^2 \cdot d_o^2 \quad (10)$$

Dadurch entsteht aber zwischen der Helligkeit des unbedruckten Papiers und der diesem kleinsten Rasterpunkt entsprechenden Helligkeit ein k^2 -fach größerer Sprung als zwischen zwei in den Helligkeitswerten aufeinanderfolgenden Druckpunkten. Dieser Helligkeitssprung ist für die Bildmodulation verloren und entspricht einem Dichteumfangsverlust.

Zur Vermeidung von Tonwertabrissen in den Tiefen muß auch hier ein Punkt, dieses Mal ein offener, das heißt negativer Punkt, stehenbleiben. In erster Näherung darf er als gleichgroß wie der kleinste positive Rasterpunkt genommen werden. Seine Fläche ist demnach

$$A_{\text{RPneg}} = A_{\text{RPmin}} = k^2 \cdot d_o^2 \quad (11)$$

Es entsteht nun ebenfalls zwischen der diesem kleinsten negativen Druckpunkt entsprechenden Helligkeit und derjenigen des vollständig bedruckten Papierses ein k^2 fach größerer Sprung als zwischen zwei in den Helligkeitswerten aufeinanderfolgenden Druckpunkten. Auch dieser Helligkeitssprung ist für die Bildmodulation verloren und reduziert den Dichteumfang. Es gilt daher für die Anzahl der unterscheidbaren Ereignisse

$$Z_{\text{AM}} = n^2 + 1 - 2k^2 \quad (12)$$

Für den minimalen Rasterpunktflächenanteil gilt

$$\varphi_{\text{min}} = d_{\text{RPmin}}^2 / A_R = k^2 / n^2 \quad (13)$$

Ferner gilt mit den Gleichungen (5) und (13)

$$rZ_a^2 = 1/A_R = 1/(n^2 \cdot d_o^2) = \varphi_{\text{min}} / d_{\text{RPmin}}^2 \quad (14)$$

Gleichung (13) in Gleichung (14) eingesetzt ergibt

$$rZ_a^2 = \frac{k^2}{n^2} \cdot \frac{1}{d_{\text{RPmin}}^2} \quad (15)$$

Damit wird die Informationskapazität für den amplitudenmodulierten Bildaufbau

$$H_{\text{maxAM}} = \frac{k^2}{n^2} \cdot \frac{1}{d_{\text{RPmin}}^2} \cdot \ln(n^2 + 1 - 2k^2) \quad (16)$$

Auch hier stellt sich die Frage nach dem Höchstwert der Informationskapazität. Hält man die Größe k fest und betrachtet die Größe n als wählbar, dann ergibt sich aus der zu Null gesetzten partiellen Ableitung $\frac{\partial H}{\partial n}$ die Gleichung

$$\frac{n^2}{n^2 + 1 - 2k^2} - \ln(n^2 + 1 - 2k^2) = 0 \quad (17)$$

Ihre Auflösung liefert für ein vorgegebenes k den optimalen Wert von $n = n_{\text{opt}}(k)$, bei dem die Informationskapazität einen Maximalwert annimmt. Für die praktische Anwendung muß $n_{\text{opt}}(k)$ auf den nächstliegenden geradzahlgigen Wert n_{real} gerundet werden. Damit kann nach Gleichung (12) die Anzahl Z der unterscheidbaren Ereignisse, das heißt Helligkeitsstufen, und schließlich auch der relative Helligkeitsumfang berechnet werden. Für letzteren gilt nach Gleichung (3) mit

$$\varphi_{\text{max}} = 1 - \frac{k^2}{n^2} \quad \text{und} \quad \varphi_{\text{min}} = \frac{k^2}{n^2}$$

$$\Delta B_{\text{rel}} = 1 - 2 \frac{k^2}{n_{\text{real}}^2(k)}$$

In der Tabelle 1 sind für den apparativ günstigen Bereich bis $n = 12$, entsprechend 12 Schreibspuren je Rasterquadrat, die Werte für $H_{\text{maxAMmax}}(k)$, Z und ΔB_{rel} in Abhängigkeit von k zusammengestellt. Zieht man zum Vergleich die maximale Informationskapazität bei frequenzmoduliertem Bildaufbau

$$H_{\text{maxFMmax}} = 1/d_{\text{DP}}^2$$

heran, wobei $d_{\text{DP}} = d_{\text{RPmin}}$ zu setzen ist, dann stellt man fest, daß bei höheren k -Werten die Informationskapazität bei amplitudenmoduliertem Bildaufbau die Informationskapazität bei frequenzmoduliertem Bildaufbau noch übertreffen könnten.

Höchstmögliche Informationskapazität der Autotypie nicht realisierbar

Es ist jedoch auch erkennbar, daß in diesem Bereich weder die Zahl der unterscheidbaren Helligkeiten noch der relative Helligkeitsumfang der Physiologie des Sehsinnes gerecht werden kann. Den Bereich weiter auszudehnen ist sinnlos, weil bei weitersteigenden Werten von k und n der relative Hellig-

keitswert weiterhin monoton absinkt. Das verhindert endgültig die praktische Anwendung der maximal möglichen Informationskapazität des amplitudenmodulierten Bildaufbaues. Die einzig derzeit bekannte und technisch realisierbare Möglichkeit, den Mangel der viel zu kleinen Zahl der unterscheidbaren Helligkeitsstufen und des viel zu geringen relativen Helligkeitsumfanges zu steuern, besteht – unter Verzicht auf die maximale Informationskapazität – in der Wahl eines k-n-Wertepaares, das die physiologischen Forderungen ausreichend gut erfüllt.

Unter diesem Gesichtspunkt erweist sich die Wahl von $k = 2$ und $n = 12$ zur Zeit technisch als optimal. Es wird damit die Zahl der unterscheidbaren Ereignisse, das heißt der Helligkeitsstufen zu

$$Z = n^2 + 1 - 2k^2 = 137$$

und der relative Helligkeitsumfang –

$$\Delta B_{\text{rel}} = 1 - 2 \frac{k^2}{n^2} = 0,944$$

entsprechend einem 2,8%-Punkt – ausreichend hoch. Für die Informationskapazität ergibt sich schließlich jedoch nur noch

$$H_{\text{maxAM}}(k = 2, n = 12) = \frac{0,197}{d_{\text{RPmin}}^2} \ll H_{\text{maxFMmax}}$$

Der Verlauf dieses Wertes in Abhängigkeit vom kleinsten Rasterpunkt ist ebenfalls in Abbildung 1 eingetragen. Ferner ist dort der Bereich der Informationskapazitäten fotografischer Materialien eingetragen. Es zeigt sich, daß die Informationskapazitäten der höher auflösenden fotografischen Materialien sich im frequenzmodulierten Bildaufbau mit Druckpunkten von rund $8 \mu\text{m}$ bis $10 \mu\text{m}$ erreichen lassen. Im amplitudenmodulierten Bildaufbau würde dies jedoch kleinste

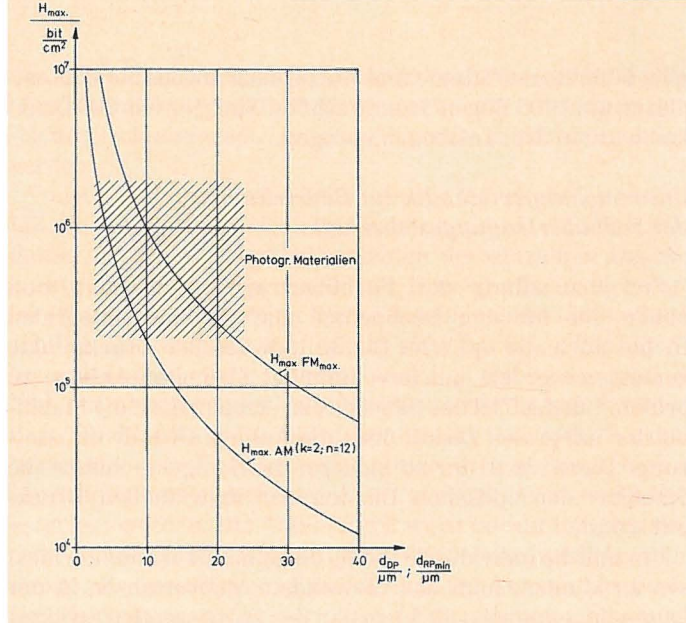
Rasterpunkte von $3 \mu\text{m}$ bis $4 \mu\text{m}$ verlangen. Die Frage nach der Größe des kleinsten sicher übertragbaren Rasterpunktes ist für den amplitudenmodulierten Bildaufbau ganz offensichtlich von noch viel ausschlaggebenderer Bedeutung.

In der Praxis wird heute jedoch in der Regel davon ausgegangen, daß Strukturen mit Abmessungen unter $20 \mu\text{m}$, wie sie hier gefordert werden müssen, drucktechnisch nicht mehr stabil übertragbar seien. Nun stellt sich jedoch die Frage, ob die angenommene Instabilität der Übertragung tatsächlich auf fehlende Farbübertragungssicherheit in der Druckmaschine zurückzuführen ist oder auf den vorangegangenen Reproprozeß. Zur Beantwortung dieser Frage muß zunächst überprüft werden, wo die Grenzen der Farbübertragungssicherheit in der Druckmaschine liegen.

Herkömmliche Reprotechnik unsicher

Dazu muß ein Beurteilungskriterium für die Sicherheit der Farbübertragung gefunden werden. Eine stabile Farbübertragung ist dann gewährleistet, wenn die örtlichen Farbvalenzen der Vorlage in der Reproduktion stabil wiedergegeben werden können. Für den unbunten Druck, von dem ersatzweise ausgegangen wurde, bedeutet dies, daß die unterschiedlichen Helligkeitsstufen, so wie das Auge sie sieht, in der Reproduktion stabil wiedergegeben werden müssen. Es bleibt somit zu untersuchen, inwieweit Rasterpunkte mit einem im Litho genau bestimmbareren Durchmesser eine optische Dichte im Druck stabil erzeugen.

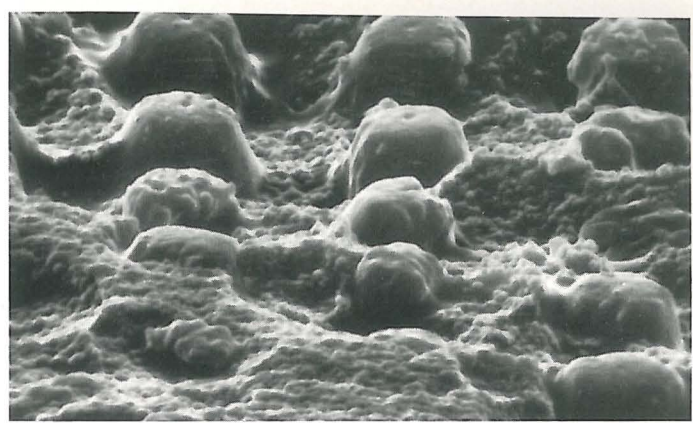
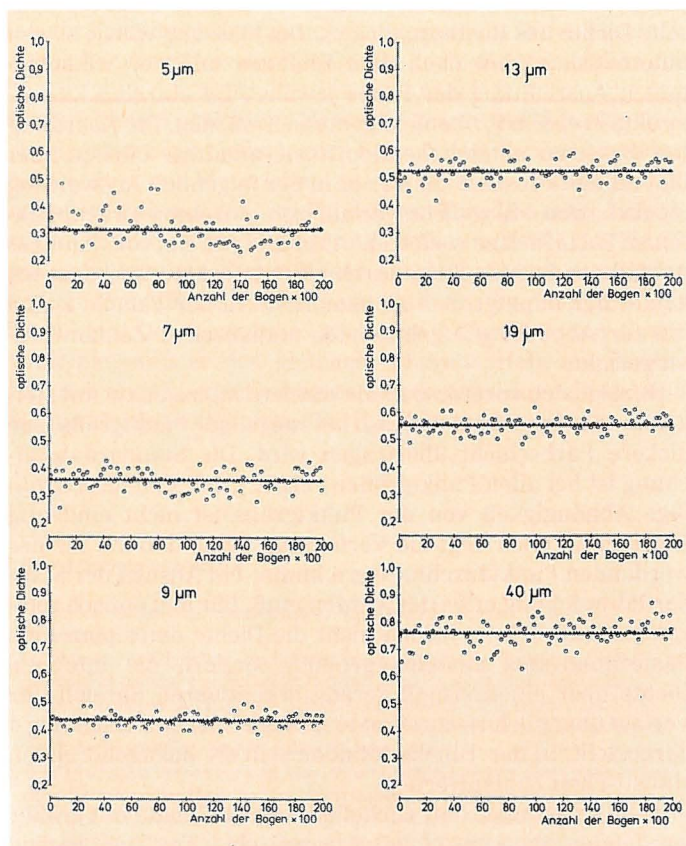
Zur Feststellung der tatsächlichen Grenzen der Farbübertragung in der Druckmaschine wurde eine Testdruckform entwickelt, in welcher vorgewählte optische Dichtewerte mit verschiedenen Druckpunktgrößen und Rasterfrequenzen wiedergegeben werden. Die Abmessungen der kleinsten



Strukturen waren, entsprechend der Grenze des Auflösungsvermögens der heute verwendeten Materialien, mit 5 μm Punktdurchmesser vorgegeben. Diese Punktgröße liegt bereits im Bereiche des fotografischen Kornes. Wegen der notwendigen Beschränkung des Probenumfanges wurde der größte zur Untersuchung herangezogene Punktdurchmesser mit 40 μm gewählt. Damit werden Punktgrößen im Lichtbereich der heute üblichen Rasterfrequenzen von 60 bis 80 Linien/cm noch miterfaßt. Zur Erleichterung der Auswertung, besonders auch bei der visuellen Beurteilung, mußten die Testfelder eine Mindestgröße von 2 cm^2 aufweisen.

Da in der konventionellen Reprotechnik bei den kleinsten Durchmessern Unsicherheiten von mindestens 20 bis 40 Prozent auftraten, schied diese für die Herstellung der Vorlagen aus. Höchste Präzision im Mikrometerbereich kann dagegen erreicht werden, wenn alle Übertragungsschritte zur Vorlagenerstellung in staubfreien Räumen und unter Einhaltung

3 Verlauf der Mikrodichte von 100 zu 100 Bogen im Fortdruck.



1 Verlauf der Informationskapazität in Abhängigkeit von der Druckbeziehungswiese Rasterpunktgröße bei Frequenz- und Amplitudenmodulation.
2 REM-Aufnahme einer entwickelten Plattenoberfläche, Punktdurchmesser in der Vorlage 5 μm , 1360 L/cm (Vergrößerung $m = 5000$).

höchster Sauberkeitsanforderungen durchgeführt werden. So war es dank der Technik der Chip-Hersteller möglich, eine Randschärfe der erzeugten Punkte zu erzielen, die im Vergleich zu konventionell hergestellten Rasterpunkten außerordentlich hoch ist.

Die konventionelle Druckplattenkopie bietet ebenfalls nicht die Möglichkeit, Mikrostrukturen präzise zu übertragen. Diese Forderung kann nur dann erfüllt werden, wenn das abbildende Strahlenbündel möglichst parallel einfällt. Bei der geringen Entfernung zwischen Lampe und Beleuchtungsfläche einer üblichen Druckplattenkopiereinrichtung ist jedoch weder eine gleichmäßige Ausleuchtung noch ein auch nur annähernd paralleler Lichteinfall erreichbar. Daraus folgt, daß kleinste Strukturen nicht mehr stabil übertragen werden können, weil sie durch schräg einfallendes Licht unterstrahlt werden.

Für die durchgeführte Untersuchung konnte der Kopierprozeß jedoch mit einfachen Mitteln soweit verbessert werden, daß es ohne Schwierigkeiten gelang, die feinsten Struk-

4 Verlauf der integralen Dichte von 100 zu 100 Bogen im Fortdruck.

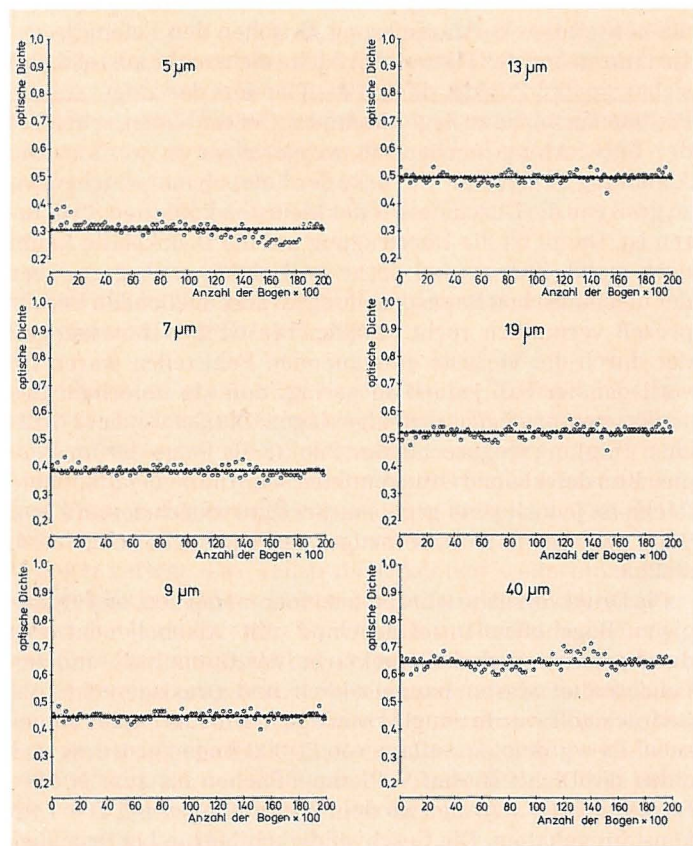


Tabelle 1
Theoretisch maximale Informationskapazität
bei Amplitudenmodulation in Abhängigkeit von k

k	$n_{opt}(k) \rightarrow n_{real}$	$H_{maxAMmax}$	Z	ΔB_{rel}
1	2,14 \rightarrow 2	$0,396/d_{RPmin}^2$	3	0,5
2	3,77 \rightarrow 4	$0,792/d_{RPmin}^2$	9	0,5
3	5,35 \rightarrow 5	$1,080/d_{RPmin}^2$	8	0,28
4	6,92 \rightarrow 7	$1,362/d_{RPmin}^2$	18	0,35
5	8,48 \rightarrow 8	$1,526/d_{RPmin}^2$	15	0,22
6	10,03 \rightarrow 10	$1,749/d_{RPmin}^2$	29	0,28
7	11,58 \rightarrow 12	$1,890/d_{RPmin}^2$	47	0,32

Tabelle 2
Mittlere Mikrodichte und Standardabweichung

Punktdurchmesser	mittl. Mikrodichte	Standardabweichung
5 μm	0,301	0,060
7 μm	0,396	0,064
9 μm	0,415	0,040
13 μm	0,533	0,057
19 μm	0,515	0,045
40 μm	0,726	0,056

Tabelle 3
Mittlere integrale Dichte und Standardabweichung

Punktdurchmesser	mittl. integr. Dichte	Standardabweichung
5 μm	0,272	0,032
7 μm	0,357	0,018
9 μm	0,420	0,015
13 μm	0,471	0,019
19 μm	0,499	0,021
40 μm	0,627	0,027

turen auf die Druckplatte zu belichten. Allerdings mußte die Plattenbelichtung dann schrittweise erfolgen.

Bei den heute handelsüblichen Platten dominieren die Dimensionen der Oberflächenstruktur gegenüber den Punkt- abmessungen wenn diese kleiner als 9 μm sind. Dadurch ist die notwendige Verklammerung zwischen den Fotopolymers- strukturen und der Plattenoberfläche nicht mehr ausreichend sicher, so daß Punkte, die auf die Plateaus der aufgerauhten Plattenoberfläche zu liegen kommen, Gefahr laufen, schon bei der Entwicklung mechanisch weggerieben zu werden. Die Abbildung 2 zeigt, daß die Dicke der Fotopolymerschicht etwa so groß wie die Durchmesser der kleinsten kopierten Struktu- ren ist. Damit ist die Übertragung auf die Druckplatte kaum noch stabil. Zudem sind derartige Gebilde auch gegenüber der mechanischen Beanspruchung im anschließenden Druck- prozeß vermutlich recht anfällig. Die Größenabmessungen der durch die Verluste entstandenen Fehlstellen waren im vorliegenden Fall jedoch so gering, daß sie unterhalb des Auflösungsvermögens des Auges lagen. Die Gefahr einer örtli- chen Häufung wegbrechender Punkte als Folge der im Ver- gleich zu den kleinen Druckpunkten sehr rauen Plattenober- fläche ist jedoch stets gegeben. Bei Punktdurchmessern von 9 μm und mehr sind derartige Verluste nicht mehr fest- stellbar.

Die Druckversuche wurden mit einer modernen, markt- gängigen Bogenoffset-Druckmaschine mit Alkoholfeuchtwerk durchgeführt. Auch die Druckfarbe, das Gummituch und das Feuchtmittel waren handelsüblich und praxisgerecht. Als Bedruckstoff wurde ein glänzend, gestrichenes Papier einge- setzt. Es wurde eine Auflage von 20000 Bogen gedruckt und dabei die Dichte in den Volltonmeßflächen bis zum 10000. Bogen mit $D = 1,78$ und ab dem 10000. Bogen mit $D = 1,95$ konstant gehalten. Die Geschwindigkeit betrug bei Druckbe-

ginn 6000 Bogen/Stunde und wurde nach jeweils 5000 Exem- plaren um 1000 Bogen/Stunde erhöht. Nach jeweils 100 Druk- ken wurden drei Testbogen gezogen.

Untersuchungsmethodik zur Beurteilung
der Farbübertragungssicherheit

Zur Beurteilung der Farbübertragungssicherheit muß neben der für den Beobachter maßgeblichen integralen Dichte auch die optische Dichte individueller Druckpunkte gemessen werden, um ihre Stabilität über eine Auflage zu prüfen. Um das Ziel des Druckens zu erreichen, ist die Stabili- tät der integralen Dichte über die Auflage Grundvorausset- zung. Diese wird um so sicherer befriedigt, je höher die Stabilität der optischen Dichten der individuellen Druck- punkte ist.

Um nun die individuelle Dichte einzelner Druckpunkte mes- sen zu können, muß das verwendete Meßverfahren in der Lage sein, einerseits die kleinsten der zu messenden Struktu- ren flächig ausreichend fein aufzulösen. Andererseits muß das Meßverfahren dem Sehvorgang gerecht werden, welcher dadurch gekennzeichnet ist, daß nur ein sehr enges Strahlen- bündel des vom Objekt büschelförmig ausgehenden Lichtes ins Auge fällt. Dies trifft für die käuflichen Bildanalysegeräte nicht zu, weil sie mit hohen Vergrößerungen arbeiten und dazu einen breiten Ausschnitt des vom Objekt ausgehenden Lichtbüschels benötigen. Dann reicht jedoch die Schärfentiefe des Mikroskopobjektives zum Ausgleich der Oberflächen- rauigkeit des bedruckten Papiers nicht aus. Das ebene Zwischenbild der zu beobachtenden Struktur ist deshalb nicht mehr identisch mit dieser selbst und kann daher für die Analyse nicht herangezogen werden. Es wurde daher ein Meßaufbau entwickelt, bei dem die mikroskopische Vergrö- ãerung bei voller Apertur lediglich als visuelle Zieleinrichtung dient, zur Messung jedoch ein nahezu achsparalleles, enges Strahlenbündel des Strahlenganges verwendet wird.

Bei der Messung der Mikrodichte wird jeweils der interes- sierende Punkt im dazugehörigen Rasterquadrat Zeile für Zeile in Schrittweiten von 0,25 μm abgetastet, die einzelnen Helligkeitswerte gemessen und anschließend gemittelt. Durch die lineare Transformation erhält man dann die opti- sche Dichte des Rasterquadrates. Die Messung wurde soweit automatisiert, daß nach dem Einlegen und der winkelge- nauen Ausrichtung der Probe jeweils fünf einzelne Raster- punkte in einem Probenfeld gemessen wurden. Die Koordina- ten dieser zu untersuchenden Rasterquadrate blieben über die Auflage konstant. So war es in der folgenden Auswertung möglich, den Mikrodichteverlauf von einzelnen Druckpunk- ten im Fortdruck zu verfolgen [Abbildung 3]. Ein vollständiger Ausfall der Druckpunkte durch mechanischen Abrieb ist bei keiner der Punktgrößen zu bemerken. In der Tabelle 2 sind die zur Abbildung 3 gehörenden statistischen Zahlenwerte aufgelistet.

Es zeigt sich vorerst, daß die mittlere Mikrodichte mit stei- gender Punktgröße steigt, also bei steigender Punktgröße eine dickere Farbschicht übertragen wird. Die Standardabwei- chung ist bei allen Punktgrößen relativ groß. Eine gesetzmä- ßige Abhängigkeit von der Punktgröße ist nicht eindeutig feststellbar, doch liegt die Vermutung nahe, daß mit kleiner werdenden Punktdurchmessern immer ein Anstieg der Stan- dardabweichung erwartet werden muß. Für den optisch rele- vanten Eindruck ist jedoch nicht die Dichte eines einzelnen Rasterquadrates ausschlaggebend, sondern die integrale Dichte über einen visuell gerade erkennbaren Bereich. Ihr Verlauf über die fortschreitende Auflage ist in der Abbildung 4 dargestellt. In der Tabelle 3 finden sich die dazugehörigen statistischen Zahlenwerte.

Es ist erkennbar, daß auch die integrale Dichte mit größer werdenden Punktdurchmessern ansteigt. Die unabhängig

vom Bildaufbau damit einhergehende Verformung der Druckkennlinie muß in praxisüblicher Form bei der Anpassung der Flächendeckungsgrade in der Vorstufe mitberücksichtigt werden.

Von ausschlaggebender Bedeutung ist jedoch die Tatsache, daß die Standardabweichung der integralen Dichte deutlich kleiner ist als jene der Mikrodichten der einzelnen Druckpunkte. Bei der großen Anzahl der Druckpunkte, welche an der Bildung der integralen Dichte beteiligt sind, findet offensichtlich ein statistischer Ausgleich statt, der bis zu Punktgrößen von 7 μm bis 9 μm entsprechend dem Gesetz der großen Zahl mit abnehmender Punktgröße immer besser funktioniert. Ob die höhere Standardabweichung von 0,032 bei der Punktgröße von 5 μm eine endgültige Grenze der sicheren Übertragbarkeit signalisiert, kann zur Zeit nicht endgültig festgelegt werden. Die Abbildung 2 weist darauf hin, daß die grobe Oberflächenstruktur der Platte maßgeblich sein könnte. Es besteht kein Zweifel, daß bei konstanten Fortdruckbedingungen mit geringeren Streubreiten und einer günstigeren Standardabweichung gerechnet werden dürfte. Das sich ergebende Bild ist deshalb für die 5- μm -Punkte eher zu ungünstig.

Zusammenfassung und Ausblick

Es konnte nachgewiesen werden, daß moderne Druckmaschinen durchaus in der Lage sind, Mikrostrukturen als Bildelemente bis hinab zu Abmessungen von 5 μm sicher zu übertragen, wobei zur Beurteilung der Übertragungssicherheit die in einem visuell relevanten Flächenbereich entstehende optische Dichte maßgebend war. Zieht man den Vergleich mit den allgemein als problemlos anerkannten Punktgrößen von über 20 μm Durchmesser, dann stellt man fest, daß die Übertragungssicherheit beim Drucken von kleinsten Druckpunkten von weniger als 10 μm Durchmesser sogar besser sein kann. So ist es schließlich denkbar, die Punktabmessungen und die daraus resultierenden Farbwolken im Druck in die Größenordnung der fotografischen Kornstrukturen hochauflösender Materialien zu bringen. Die Schwierigkeiten bei der Herstellung fotoähnlicher Drucke hoher Auflösung besteht demnach nicht in den drucktechnischen Grenzen der Farbübertragungssicherheit, sondern in der Vorstufe, in welcher derzeit weder alle Geräte noch alle Materialien zur Übertragung kleinster Strukturen ausgelegt sind. Aus den durch frühere praktische Versuche gestützten theoretischen Überlegungen geht jedoch auch hervor, daß die Verbesserung von Geräten und Materialien nur dann einen wirklich grundlegenden Beitrag zur Erhöhung der Druckqualität bringt, wenn der frequenzmodulierte Bildaufbau anstelle des heutigen autotypischen Bildaufbaues eingeführt wird. Denn, der frequenzmodulierte Bildaufbau stellt an die Stabilität des Repro- und Druckprozesses geringere Anforderungen als die Autotypie, weil er den gleichen Qualitätserfolg mit Druckpunkten erzielt, welche immer mindestens doppelt so groß wie die kleinsten Rasterpunkte der Autotypie sind.

Literaturverzeichnis

1. WOLF, K.: *Beitrag zur Systemtheorie der Druckverfahren*. Diss. Darmstadt 1970.
2. HRADEZKY, R.: *Objektive Qualitätsbeurteilung von Druckprodukten und Möglichkeiten zur analytischen Behandlung von Reproduktions- und Druckprozessen mit Hilfe der Informationstheorie*. Diss. Darmstadt 1977.
3. GERDES, H.-R.: *Das Wahrnehmen von Lichtzeichen an der achromatischen und chromatischen Schwelle*. Diss. Darmstadt 1979.
4. EP O 132 453: *Verfahren und Einrichtung zum Minimieren von Fehlern bei der digitalen Verarbeitung von elektrischen Signalen*.
5. FISCHER, G.: *Der frequenzmodulierte Bildaufbau – ein Beitrag zum Optimieren der Druckqualität*. Diss. Darmstadt 1986 (in Erscheinung).